

## ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ДЕФОРМАТИВНОСТІ ЗВИЧАЙНИХ ТА ПОШКОДЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ ВУГЛЕПЛАСТИКОМ, ЗА ДІЇ МАЛОЦИКЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

*К.т.н. Сьоміна Ю.А., асп. кафедри ЗБК і ТС Даниленко Д.С.,  
студ. Антонова Д.В., гр. ПЦБ-609  
Одеська державна академія будівництва і архітектури*

У процесі експлуатації або в ході бойових операцій, в умовах яких діють переважно малоциклові повторні навантаження, прогінні залізобетонні конструкції зазнають значних пошкоджень та внаслідок цього потребують відновлення їхньої працездатності, чим і зумовлена актуальність та важливість проведення вказаних досліджень.

Як показав огляд літературних джерел, частіше за все відновлення працездатності та підсилення конструкцій в цілому виконується за рахунок збільшення їхнього перерізу шляхом приєднання до них додаткових металевих або залізобетонних елементів. Але методи розрахунку такого підсилення є недосконалими. В свою чергу авторами запропоновано здійснювати відновлення працездатності вказаних конструкцій шляхом підсилення розтягнутих їх частин, а також припорних ділянок фібровармованим вуглецевим пластиком (ФАП).

*Мета роботи* – перевірити доцільність використання ФАП для відновлення працездатності залізобетонних балок, а також встановити вплив малоциклового навантаження на напружено-деформований стан підсилених конструкцій.

Для досягнення поставленої мети авторами спочатку були виконані випробування звичайних залізобетонних балок за дії одноразового статичного навантаження (серія 1) та малоциклового знакопостійного навантаження (3 серія) [1]. Після доведення дослідних зразків-балок серії 3 до граничного стану за I і II групами здійснивши підсилення пошкоджені нижньої розтягнутої зони та майже зруйнованих припорних ділянок арматурою ФАП з вуглепластикового полотна Sika® Wrap®-231C за встановленою Sika Russia [2] технологією, після чого зразки-балки випробували також за дії малоциклового знакопостійного навантаження. Базою малоциклових випробувань було прийнято 20 циклів. Випробування виконувались за чотирьохфакторним планом експерименту. В якості змінних факторів були прийняті: відносний прольот зрізу  $a/h_0$ , клас бетону  $C$ , коефіцієнт поперечного армування  $\rho_v$ , та рівень малоциклового навантаження  $\eta$ .

Під час виконання експериментальних досліджень здійснювали прямі вимірювання деформацій крайніх, найбільш стиснутих у даному циклі, волокон бетону та, відповідно, розтягнутої робочої арматури посередині прольотів (в зоні чистого згину), а також опосередковану оцінку деформацій поперечної арматури припорних ділянок дослідних зразків-балок [3].

Експериментально встановлено, що значення відносних деформацій матеріалів після дії кожного циклу повторного навантаження на певному рівні суттєво зростають, накопичуються залишкові деформації аж до їх стабілізації, яка, як правило, настає після 4...8 циклів навантаження і складає 60...80% від загальних залишкових деформацій бетону стиснутої зони. На другий і третій цикли навантаження, зазвичай, припадає ще 15...25%, а на 4...8 цикли – всього 5...10% цих деформацій. При цьому, дія малоциклових навантажень суттєво впливає на напружено-деформований стан дослідних балок. Зокрема, епюра напружень стиснутої зони поступово змінюється внаслідок ущільнення бетону, відбувається перерозподіл внутрішніх зусиль між стиснутим бетоном і розтягнутою арматурою, в якій змінюються відповідні деформації. В деяких дослідних зразках з великими прольотами зрізу

бетону чи арматури, а інколи і бетону, і арматури, не наставала і їхнє руйнування, як неперезармованих елементів, відбувалося за нормальними перерізами внаслідок текучості поздовжньої робочої арматури або і текучості арматури, і зминання бетону стиснутої зони.

Аналогічно стиснутому бетону при повторному навантаженні відбувається деформування поздовжньої розтягнутої робочої арматури. Досліди показали, що залишкові деформації в ній при розвантаженні балок до нуля на перших циклах досягають значень  $(20 \dots 50) \cdot 10^{-4}$  і стабілізуються до 4...8 циклів.

Залишкові деформації у поперечній арматурі та бетоні похилих перерізів становили 25...60% від загальних. Найбільший їхній приріст спостерігався на першому циклі ( $\approx 20 \dots 50\%$ ) та при довантаженні на останньому циклі. За рахунок зменшення пластичних деформацій процес накопичення залишкових деформацій у матеріаліх припорних ділянок при сталому рівні малоциклового поперечного навантаження поступово згортає. До 4...8 циклу такого навантаження і в поперечній арматурі, і в бетоні припорних ділянок, як правило, відбувається стабілізація деформацій.

Відносні деформації робочої розтягнутої арматури посередні прольоту дослідних елементів. Обробка експериментальних даних відносних деформацій робочої арматури в зоні чистого згину балок після їх стабілізації на відповідному рівні малоциклового навантаження, а також перед їхнім руйнуванням при  $\eta = 0,95F_0$  дозволила отримати наступні математичні моделі:

- робочої сталевій арматурі класу А500С у звичайних і підсиленних балках при встановлених рівнях  $\eta$ , навантаження відповідно серій 1, 3 і 5:

$$\hat{\epsilon}_1^{\sigma_{s1}} = (195 + 48x_1 + 10x_2 + 9x_3 + 32x_4 - 25x_5^2 - 9x_6^2 - 5x_7^2 - 15x_8^2 + 15x_9x_2 + 10x_9x_4) \cdot 10^{-4}, \quad (1)$$

$$\nu = 5,3\%$$

$$\hat{\epsilon}_3^{\sigma_{s1}} = (210 + 52x_1 + 16x_2 + 10x_3 + 34x_4 - 26x_5^2 - 10x_6^2 - 5x_7^2 - 16x_8^2 + 16x_9x_2 + 10x_9x_4) \cdot 10^{-4}, \quad (2)$$

$$\nu = 5,1\%$$

$$\hat{\epsilon}_5^{\sigma_{s1}} = (127 + 25x_1 + 10x_2 + 17x_3 + 32x_4 - 26x_5^2 - 6x_6x_2 + 8x_6x_3 + 14x_6x_4 + 6x_6x_4 + 5x_6x_4) \cdot 10^{-4}, \quad (3)$$

$$\nu = 5,5\%$$

- зовнішньої композитної арматури ФАП при тих же значеннях навантажень:

$$\hat{\epsilon}_f^{\sigma_{s1}} = (162 + 33x_1 + 14x_2 + 24x_3 + 39x_4 - 11x_5x_3 + 14x_5x_4 + 6x_5x_2 + 6x_5x_4) \cdot 10^{-4}, \quad (4)$$

$$\nu = 5,7\%$$

Аналіз математичних моделей (1)...(4) показує, що середні значення відносних деформацій розтягнутої арматури посередні балок після їх стабілізації при малоциклових знакопостійних навантаженнях збільшуються. При цьому, вплив дослідних факторів на зазначений параметр у дослідних серіях є суттєвим і однотипним. Так, відносні деформації розтягнутої арматури зразків-балок серій 1, 3, 5 при заданих планом рівнях навантаження та перед руйнуванням збільшуються відносно середніх значень зі збільшенням:

- відносного прольоту зрізу  $a/h_0$  від 1 до 3 на 49%, 44% і 39%;
- класу бетону від С16/20 до С40/50 на 10%, 15% і 16%;
- кількості поперечної арматури  $\rho_{sv}$  від 0,0016 до 0,0044 на 9, 10 і 27%;
- рівня поперечного навантаження  $\eta$  від 0,5 до 0,8 на 33, 32 і 50%,

а композитної арматури ФАП при збільшенні:

- відносного прольоту зрізу  $a/h_0$  від 1 до 3 на 41%;
- класу бетону від С16/20 до С40/50 на 17%;
- кількості поперечної арматури  $\rho_{sv}$  від 0,0016 до 0,0044 на 30%;
- рівня поперечного навантаження  $\eta$  від 0,5 до 0,8 на 48%;
- при одночасному збільшенні всіх дослідних факторів.

Порівняно з 3 серією дослідів наявність зовнішньої арматури ФАП зменшила деформації розтягнутої металевої арматури, в середньому, в 1,65 рази. Між ними відбувається перерозподіл розтягуючих зусиль.

Відносні деформації стиснутого бетону в зоні чистого згину дослідних балок. Математичні моделі відносних деформацій стиснутого бетону дослідних зразків-балок звичайних і підсиленних балок серій 1, 3 і 5 за встановлених планом рівнів  $\eta, F_{a,1}$  навантажень мають вигляд:

$$\hat{\epsilon}_{c1}^{\eta F_{a1}} = (84 + 17x_1 + 10x_2 + 7x_3 + 21x_4 + 4x_1x_2 + 5x_1x_4) \cdot 10^{-5}, \quad \nu = 5,1\%, \quad (5)$$

$$\hat{\epsilon}_{c3}^{\eta F_{a1}} = (92 + 17x_1 + 10x_2 + 7x_3 + 21x_4 + 4x_1x_2 + 5x_1x_4) \cdot 10^{-5}, \quad \nu = 5,2\%. \quad (6)$$

$$\hat{\epsilon}_{c5}^{\eta F_{a1}} = (91 + 21x_1 + 5x_2 + 14x_3 + 21x_4 - 4x_1^2 - 2x_2^2 - 12x_1x_2 + 8x_1x_3 + 11x_1x_4 - 7x_2x_3 + 4x_2x_4) \cdot 10^{-5},$$

$\nu = 9,6\% \quad (7)$

Середні значення відносних деформацій стиснутого бетону посередині балок після їх стабілізації при малоциклових знакопостійних навантаженнях збільшуються у порівнянні з короточасним статичним навантаженням. Відносні деформації стиснутого бетону залізобетонних балок 1, 3 і 5 серій перед руйнуванням збільшуються відносно середніх значень зі збільшенням:

- відносного прольоту зрізу  $a/h_0$  від 1 до 3, відповідно, на 47%, 40% та 71%;
- класу бетону від С16/20 до С40/50 на 23%, 15% та 19%;
- кількості поперечної арматури  $\rho_{sv}$  від 0,0016 до 0,0044 на 17 і 15%;
- рівня поперечного навантаження  $\eta$  від 0,5 до 0,8 на 15% і 5%.

Опір пошкоджених у процесі експлуатації або в ході бойових дій прогінних залізобетонних конструкцій підсиленних ФАП, за дії малоциклового повторного навантаження високим рівнів ще зовсім не вивчений. Тому отримані авторами результати досліджень мають вагомому наукову цінність.

#### Висновки:

1. При збільшенні відносного прольоту зрізу збільшується вплив згинального моменту і відносні деформації розтягнутої арматури посередині прольоту дослідних елементів зростають на 51% та 52% відповідно до серій. Збільшення значень інших дослідних факторів призводить до зростання деформацій розтягнутої арматури до 24% в обох серіях. Що стосується відносних деформацій стиснутого бетону в зоні чистого згину зразків, то найбільш впливовими являються два фактори: відносний проліт зрізу та рівень поперечного навантаження. А саме при їхньому збільшенні, величина деформацій стиснутого бетону зростає на 40% та 37%, відповідно.
2. Порівняно з 3 серією дослідів наявність зовнішньої арматури ФАП зменшує деформації розтягнутої металевої арматури, в середньому, в 1,65 рази. Між ними відбувається перерозподіл розтягуючих зусиль.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Особливості напружено-деформованого стану і розрахунку залізобетонних конструкцій за дії циклічного навантаження високим рівнів: монографія / В.М. Карпюк, Ю.А. Сьоміна, А.І. Костюк, О.Ф. Майстренко. – Одеса: ОДАБА, 2018. – 237 с.
2. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами SikaR: Стандарт организации. СТО 13613997-001-2011. – Москва: ОАО «ЦНИИПромзданий», ООО «Зика», 2011. – 61 с.
3. Применение утеплителей для усиления железобетонных конструкций промышленных зданий / В.Л. Чечневский, Е.З. Аксельрод // Промышленное и гражданское